

适于工程教育的生物化学 PBL 教学案例设计

赵培^{1,2}, 王素英^{1,2}, 张宏宇^{1,2}, 阮海华^{1,2}

1 天津商业大学 生物技术与食品科学学院, 天津 300134

2 天津商业大学 天津市食品生物技术重点实验室, 天津 300134

赵培, 王素英, 张宏宇, 阮海华. 适于工程教育的生物化学 PBL 教学案例设计. 生物工程学报, 2022, 38(12): 4779-4788.

ZHAO P, WANG SY, ZHANG HY, RUAN HH. Design of Biochemistry PBL teaching cases suitable for engineering education. Chin J Biotech, 2022, 38(12): 4779-4788.

摘要: 工程教育是我国高等教育的重要组成部分, 随着新工科人才培养内涵的不断深化, 全方位开展课程改革, 提高工科人才培养质量正当其时。为了突出新工科人才培养的特色, 专业课和实习实践类课程正在成为课程教学改革的重点。但是, 在专业基础课中如何突出工科特色人才培养的实践亟待探索。本文以生物化学课程为例, 采用问题引导式教学方法, 选择合适的教学案例, 从科学与技术问题出发探索教学设计, 引导学生凝练问题、分析问题并解决问题。实现引导学生从“被动式”到“主动式”学习的转变, 提升学生思辨能力的同时, 突出科学与技术的工程化应用, 并为持续甚至终生学习奠定基础, 为新工科背景下应用型人才培养提供参考和借鉴。

关键词: 工程教育; PBL; 生物化学; 案例; 生物工程; 食品科学与工程

Design of Biochemistry PBL teaching cases suitable for engineering education

ZHAO Pei^{1,2}, WANG Suying^{1,2}, ZHANG Hongyu^{1,2}, RUAN Haihua^{1,2}

1 College of Biotechnology and Food Science, Tianjin University of Commerce, Tianjin 300134, China

2 Tianjin Key Laboratory of Food Biotechnology, Tianjin University of Commerce, Tianjin 300134, China

Abstract: Engineering education is an important part of China's higher education. With the deepening of

Received: January 30, 2022; **Accepted:** July 18, 2022; **Published online:** July 22, 2022

Supported by: Key Projects of Undergraduate Teaching Quality and Teaching Reform Research Program in Tianjin Normal Colleges and Universities (A201006901); Permanent Subject of Tianjin Ideological and Political Theory Course (SZKZX2021150); Tianjin University of Commerce Undergraduate Teaching Reform Research Project (TJCUJG202045)

Corresponding author: RUAN Haihua. E-mail: ruanhaihua@tjcu.edu.cn

基金项目: 天津市普通高等学校本科教学质量与教学改革研究计划重点项目 (A201006901); 天津市思想政治理论课常设课题 (SZKZX2021150); 天津商业大学本科教学改革研究项目 (TJCUJG202045)

the connotation of new engineering talents training, it is timely to carry out the curriculum reform in all directions and improve the quality of engineering talents. In order to highlight the characteristics of fostering new engineering talents, specialized courses and practical courses are becoming the focus of curriculum teaching reform. However to this end, it is urgent to explore how to strengthen fostering talents with engineering characteristics in the professional foundation courses. Taking the biochemistry course as an example, problem-based learning teaching methods were employed, appropriate teaching cases were selected, scientific and technical problems based instructional designs were explored, and students were guided to condense, analyze and solve problems. This study aims to transform the learning attitude of students from “passive” to “active”, enhance students’ thinking skills, highlight the engineering application of science and technology, lay the foundation for continuous and even lifelong learning, and provide a reference for fostering talents under the new engineering background.

Keywords: engineering education; problem-based learning; Biochemistry; case; Biotechnology; Food Science and Engineering

基于问题学习 (problem-based learning, PBL) 的教学模式,是由加拿大安大略省麦克斯特大学的 Howard Barrows 教授于 1969 年提出的^[1]。PBL 是以学生为中心,问题为基础,以教师启发式教育为宗旨的教学方法,注重高阶思维能力的培养。PBL 教学模式的核心是课程的案例设计。任课教师需依据人才培养目标定位、知识体系、学生水平设计案例,以成果为导向^[2],反向规划课程体系,巧妙融入实际问题^[3],主导驾驭课堂。这对教师的教学技巧、组织能力和授课能力等均提出了较高要求。

PBL 教学模式在西方发达国家的某些医学院校已试行了 30 余年,据悉全球目前约有近 2 000 所医学院采用该模式。鉴于 PBL 起源于医学院,经多年的发展与实践在医学各类课程中已积累了众多根据教学内容和目标创设问题的情境、病例与案例,但适用于工程教育的 PBL 教学案例却寥寥无几。医学理念下的 PBL 为临床情境,切入点为病例,教学目的为利于学生应用基础知识去探索与临床疾病相关的机制;工程教育理念下的 PBL 为实践情境,切入点为工程案例,教学目的为利于学生基于基础

知识分析影响工程问题的过程性因素,并获得有效结论。前者培养学生的病症分析、病理联系临床能力,提高医疗实践能力;后者培养学生创新精神、科研实践能力,增强工程实践能力。基于两者的差异性有必要设计适于工程教育的 PBL 教学案例。

工程教育理念下需要增进学生对生化产品“工业化”的理解,使学生预见专业前景,将生物大分子物质在加工过程中的转化过程进行延展。通过引入工程相关实例,将工程思维培养与课程教学相结合,工程教育元素融入教学内容。将科学或技术巧妙融入问题中,按照提出问题、分析问题和解决问题的逻辑组织案例和课堂教学,培养学生的逻辑思维能力和思辨能力。工程思维的核心是创造精神和制造产品,需以问题解决为导向,思考解决现实问题的最优方案。这与 PBL 基于实际问题的教学,在教学设计思路要求上并不相悖。学生围绕问题,或利用已有知识基础,做知识的联系与迁移,或利用给定资源,展开调研和策划,最终得出解决问题的方案,最大限度地满足实际需求。

近年来,面对新科技革命的机遇和挑战,

学生创新能力亟待培养,工程教育新生态亟待构建^[4]。本文将以生物工程、食品科学与工程和制药工程的专业基础课生物化学为例介绍专业基础课挖掘工程相关 PBL 教学案例的方法、案例库的建立、设计与优化、案例评析,充分挖掘 PBL 教学法创新性的能力培养内涵,便于与后续课程形成具有连贯性的知识传授体系,为优质课程建设中教学案例的构建提供示范,为完善工程人才培养体系提升工程教育质量奠定基础。

1 PBL 教学案例开发途径

生物化学是生物学、食品学、药学、医学、农学等相关专业的基础必修课,研究对象微观、抽象和复杂^[5],循环途径多,代谢通路长,知识脉络多而复杂。学生们往往感到该课程学习目的不明确,学习动力不强,知识点与实践脱节,与后续专业连接不紧密。

设计理念是决定教学效果的关键因素。工程思维导向的 PBL 教学设计,利于学生挖掘生化产品的工程属性,逐渐形成工程思维习惯,为后续专业课的学习打下坚实的基础。教学中应注重融合工程元素,结合工程工艺进行教学,便于协调课程衔接,令学生拓展思路。PBL 的基础是案例,案例不仅隐藏有相关知识点,而且可实现理论与实践融会贯通,将引导和规范学生的学习行为,辅助学生完成自主学习。案例的开发可从以下几个途径进行。

1.1 来自课程体系

教学过程经常出现即使学生掌握了相关的技术原理,但在后续的课程中却不能做到技术原理灵活运用情况。在国际工程教育改革发展趋势的推动下,本科生培养改革需全线整合,即强调每个学科知识完整性的前提下,需加强学科间的联系,注重课程间内容的衔接。方便学生对后续专业课程持续学习,掌控串联知

识的能力,以便从事经济、有效、大规模的生产所需产品和提供服务的工程活动^[6]。故对于专业基础课的案例可以顺着课程体系深入专业课程搜寻案例。笔者称之为“溯源融合”。图 1 以食品科学与工程专业为例进行说明。

利用“溯源融合”从后续专业课角度挖掘和联系生物化学知识,以便将知识串联成有机整体。同样生物工程专业、制药工程专业也可将生物反应工程、生物工艺学、药物化学、药物毒理学等专业知识融入生物化学的教学过程中,用于分析和解决复杂生物及制药工程问题。

1.2 来自科学研究

实践能力较为薄弱是工程专业人才培养环节中存在的主要问题之一。如何开拓视野,拓展扩大知识面,使学生积极主动参与知识的理解和应用是教师授课过程中应解决的问题。培养学生探究问题的兴趣,提升专业素养和专业能力,结合专业特色让其体会到学有所用是教师进行教学探索的目标。将科研成果、方法和思维方式注入教学将为书本理论知识增添活力,赋予知识灵动性。如焦磷酸钠对肉类蛋白质肌原纤维稳定化乳液凝胶质地特性的影响^[7],滑菇多糖作为冷冻保护剂保持干酪乳杆菌活力^[8],酸枣仁中维生素 E 的超声波辅助提取^[9]等均为我院教师的科研成果,既可以联系蛋白质、多糖、维生素等的功能,又能使学生聚焦工程产业创新实践,增强专业自信心。此外,基于基因工程手段建立的高生产强度和高产酶水平的微生物表达体系生产食品加工用酶、蛋白功能纳米材料的研究,利用基因工程调节普通淀粉在合成过程中特定酶的含量等内容,亦可以渗透到教学内容中。这将利于学生掌握生物化学产品设计和产品全周期、全流程开发的基本设计方法和技术,令教学内容与学科发展同步更新,帮助学生不断地创新及探索新知,培养学生的

批判性创新思维能力。

1.3 来自时事热点

人们关注的话题与日常生活息息相关，易于使学生形成多元思维方式，让学生能够跳脱出固有的教材知识束缚。如高蛋白质、高营养价值、低热量饮食的开发；利用离体细胞生长并维持结构和功能而培育制造的动物蛋白质肌肉组织、模拟肉制品；连花清瘟中炒过的苦杏仁，在体内可分解为氢氰酸，是呼吸链的阻断剂^[10]；左旋肉碱作为载体将中长链脂肪酸由线粒体膜外转移至膜内，进而发生 β -氧化^[11]；辅酶 Q_{10} 是细胞有氧呼吸和能量代谢的促进剂和激活剂，具有抗氧化和强免疫作用；不被健康人体小肠所吸收的抗性淀粉；乳糖不耐受的成因与缓解方式……教师可以利用热点话题和身边的示例，引起学生兴趣，用技术原理解决遇到的实际问题，学习隐含于问题背后的科学知识，从而改变课本中知识的表达

方式，内化思维习惯模式，这有利于学生不断建立知识与应用的联系，活学活用，树立良好职业素养并形成终生学习的习惯。

2 PBL 教学案例优化整理

PBL 教学案例的选择要有合理性和必要性，应符合人才素质培养的基本要求，有利于提高学生自主学习能力、创造性思维能力和解决问题能力等工程学综合能力，有利于调动学生学习的积极性、促进学生个性化学习方法的形成。案例分析讨论过程可以逐渐培养学生解决问题的欲望，提升创新能力和核心素养。教师在设计案例过程中应从工程知识、问题分析、设计和开发解决方案角度着手，问题设计应具有新颖性和趣味性，表 1 列举了组成案例的“科学问题”，可将其置于一定的情境中，以便给学生直观的专业印象和清晰的学习指导。

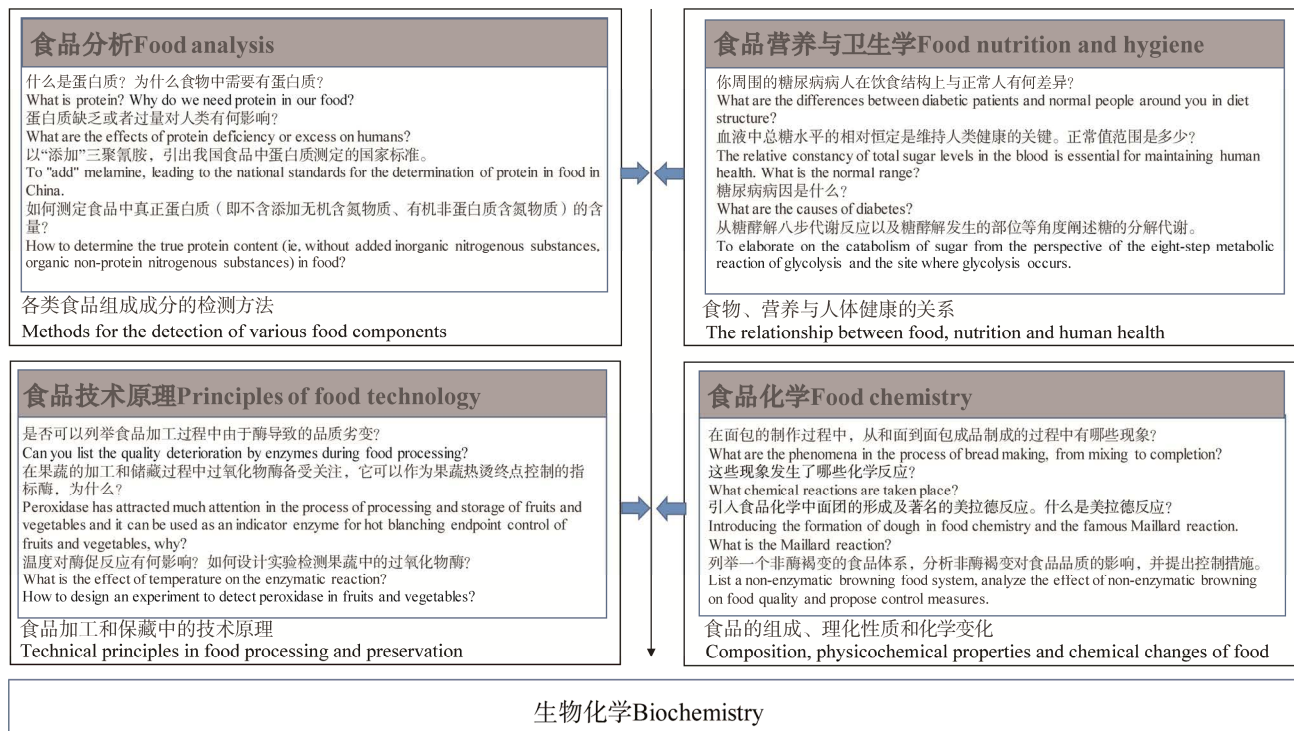


图 1 专业课与生物化学的“溯源融合”

Figure 1 The “traceable integration” of professional courses and Biochemistry.

表 1 生物化学 PBL 教学案例问题列举

Table 1 List of problems in PBL teaching cases of Biochemistry

序号 Serial No.	内容 Content	案例 Case	知识点 Knowledge points	问题 Problem
1	糖 Sugar	抗性淀粉 Resistant starch	多糖结构 Polysaccharide structure	抗性淀粉的结构特点是什么? 如何制备抗性淀粉? What are the structural characteristics of resistant starch? How to prepare resistant starch?
2		酸枣仁多糖、滑菇多糖 <i>Zizyphi Spinosae</i> Semen polysaccharide, <i>Pholiota nameko</i> polysaccharide	多糖功能 Function of polysaccharide	多糖如何发挥免疫调节作用? How does polysaccharide play immunomodulatory role?
3	氨基酸与蛋白质 Amino acids and proteins	德克赛巨林与苯齐巨林 Dexedrine and Benzedrine	氨基酸的旋光性 Optical activities of amino acids	分析苯齐巨林推荐剂量高的原因。为什么苯齐巨林不再有售? Analysis of the reasons for the high recommended dose of Benzedrine. Why isn't Benzedrine no longer on sale?
4		人造肉 Artificial meat	蛋白质的结构 Protein structure	深入研究制备人造肉的目的有什么? What is the purpose of making a profound study on the preparation of artificial meat?
5		从蛋清中纯化出卵清白蛋白 Ovalbumin purified from egg white	蛋白质分离纯化技术 Protein separation and purification technology	蛋白质纯化的基本策略是什么? 如何凝练纯化目标蛋白质的方案? What are the basic strategies for protein purification? How to refine the target protein purification protocol?
6	酶 Enzyme	磺胺类药物抑菌 Bacteriostatic mechanism of sulfanilamide compounds	竞争性抑制 Competitive inhibition	分析磺胺类药物为何具有抑菌作用? 在抑菌的同时为何对人体没有危害? Why do sulfonamide compounds have bacteriostatic effects?
7	维生素 Vitamin	V _C 和 V _E 的功能 Functions of V _C and V _E	维生素的功能 Function of vitamins	V _C 和 V _E 哪种效果好? 是否可以同时服用? 目前生产上如何制备 V _C ? Which one is better, V _C or V _E ? Is it possible to take V _C and V _E at the same time? How to prepare V _C on an industrial scale?
8	糖代谢 Glucose metabolism	糖尿病人饮食, 胰岛素的发展 Diabetes diet, insulin development	糖代谢异常 Abnormal glucose metabolism	胰岛素的 结构特点是什么? 如何获得活性? 降血糖的机制是什么? What are the structural characteristics of insulin? How does insulin become active? What is the mechanism of insulin hypoglycemia?
9		谷氨酸发酵 Glutamate fermentation	糖酵解 Glycolysis	糖酵解途径与谷氨酸发酵途径的关联是什么? What is the link between the glycolytic pathway and glutamate fermentation pathway?
10	细胞呼吸与氧化磷酸化 Cellular respiration and oxidative phosphorylation	莲花清瘟 Lianhua qingwen	呼吸链阻断剂 Respiratory chain blocker	莲花清瘟止咳的机理是什么? What is the anti-cough mechanism of Lianhua qingwen?
11		食品储藏过程的呼吸 Cellular respiration during food storage	细胞呼吸作用 Cellular respiration	呼吸作用对果蔬储藏有何意义? What is the significance of respiration for fruit and vegetable storage?
12	脂代谢 Lipid metabolism	生酮饮食 Ketogenic Diet	酮体的产生与利用 Production and utilization of ketone body	生酮饮食的依据是什么? 如何得知酮体生成? What is the basis of the ketogenic diet? How to know ketone body formation?
13		酮症酸中毒 Ketoacidosis	酮体的弊益 Disadvantages and benefits of ketone body	酮症酸中毒的机制是什么? What is the mechanism of ketoacidosis?
14	核酸代谢 Nucleic acid metabolism	鸡溶菌酶 Chicken lysozyme	断裂基因 Split gene	工厂中制备溶菌酶, 是提取鸡蛋的 DNA 还是 RNA? 为什么? For the preparation of lysozyme in a factory, is it extracted from egg DNA or RNA? Why is it designed like this?

教学理念方面：为了使课程突出专业特色，强化学生的工程思维，可以利用 PBL 教学案例多维度、多渠道优化教学设计。教学思路方面：PBL 设计在工程技术相关的生物化学知识要点和难点部分，以突出重难点为目标，通过调整和规划教学内容，让知识的展开循序渐进并联系实际，体现出内容的适用性与实用性，以达到优化的目的。教学形式方面：充分利用线下讨论、回答、作业、报告，线上发帖、回帖、生生互评等方式丰富形式。如图 2 案例以生物大分子的结构、性质和功能，物质的代谢与调节，遗传信息的传递规律等内容模块为基础，每部分设置 1 次优化的 PBL 教学活动，每次 PBL 均是多个知识点的整理、融合，通过提出问题-布置任务-课上小组探讨-归纳总结-得出结论的方式进行 PBL 教学。优化后的 PBL 教学案例有利于学生把握章节要点，将工程问题的解决方案联系相应理论内容。

在分析专业特点、确定专业对应生物化学重点内容的前提下，课程核心内容处所设计的 PBL 案例应体现出学生的综合学习能力和分析能力。本 PBL 案例涉及知识点多，涵盖内容丰富，考察学生多方面的能力，可以通过提出问题的自学，搜集材料组队讨论，课上汇报交流发表意见，课下以总结报告的方式进行。如图 2 所示，针对生物工程专业 PBL 案例设计体现出生物工程产品特征，为使学生在设计实验方案、对影响复杂生物工程问题的过程性因素的分析等方面得到训练并积累学习经验，可在蛋白质抗原结构分析、疫苗制备等知识点处设计 PBL 教学模式。这样有利于学生对复杂生物工程问题的解决方案进行比较与综合，提高学生对由其衍生的生物工程项目管理、项目决策的能力；利于学生体会生物工程实践对社会进步的影响，强化工程师责任感的形成和价值观的塑造。

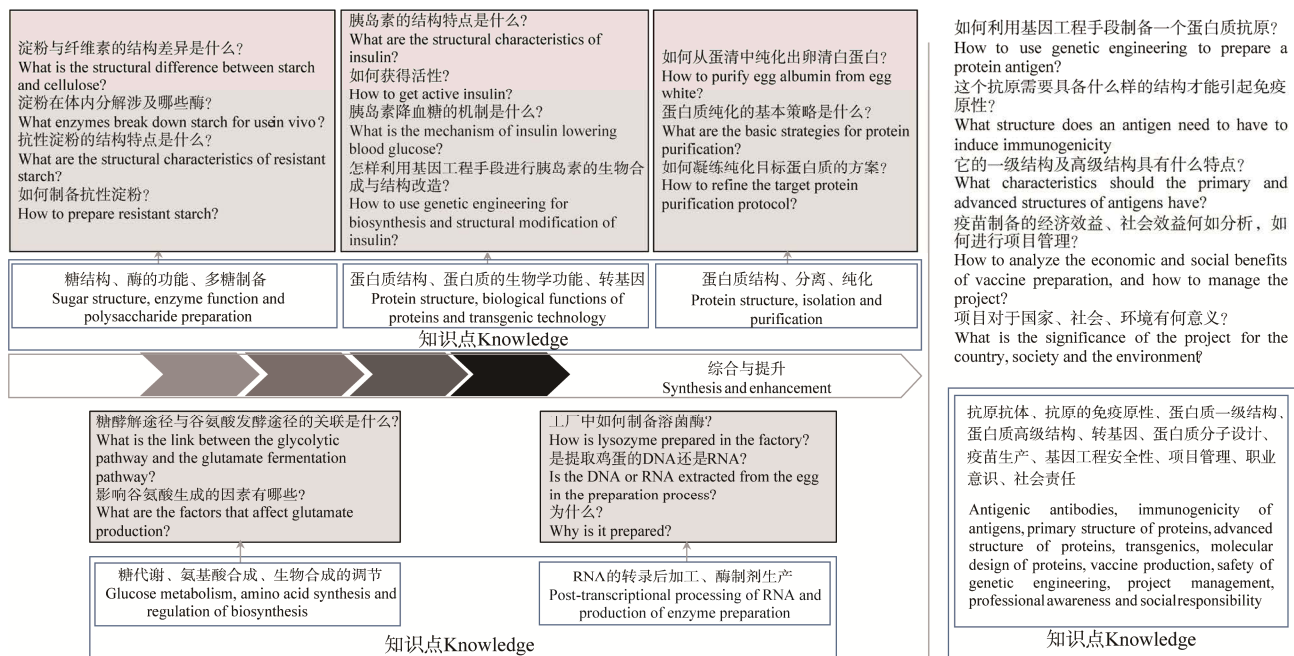


图 2 PBL 教学案例的优化与提升

Figure 2 Optimization and enhancement of PBL teaching cases.

3 PBL 教学案例的设计与使用

3.1 情境模拟

将问题置于情境中,依据人才培养的不同专业特性,营造不同情境。情境的设计围绕用生物化学原理分析解决生物产品生产方案的比较和综合。用生物化学的代谢调控理论解决生物转化过程研究中的机理问题,识别并判断生物代谢调控等复杂生物工程问题中的关键环节。PBL 从情境认知理论视角提出问题^[12],在发挥学生主体性的基础上构建个性化学习体验,进而在真实的研究情境下培养学生质疑创新的学习研究态度和务实的实践经验,以下为两个案例。

(1) 多年前两个制药厂生产了一种兴奋剂药物(化学名为 1-苯-2-氨基-丙烷,结构式略),一个厂生产的商品名为苯齐巨林,另一个厂的商品名为德克赛巨林,这两个药物的结构式和许多物理性质是一样的,德克赛巨林(仍可买到)的推荐口服剂量是 5 mg/d,苯齐巨林(不再有售)的推荐剂量为前者的 2 倍^[13]。请解释苯齐巨林推荐剂量高的原因并分析;为什么苯齐巨林不再有售?该例中知识点为旋光性、消旋体等,角度为消费者,情境为从有利于消费者健康和利益的角度分析。

(2) 通过鸡溶菌酶的案例引出真核生物断裂基因的结构及其转录后加工。课前给学生展示几个溶菌酶的专利,让学生们关注其在工业产业中的应用。问题:试想你在实验室如何获得溶菌酶?回答:可从鸡蛋中获得;问题:试想你在工厂如何获取大量溶菌酶?那可能需要许多鸡蛋,大量的蛋清在提取过程中被浪费了,成本太高,有无其他方法?回答:可利用生物工程的方法。讲解以鸡溶菌酶为例引入断裂基因,断裂基因的结构特点决定了由 DNA 转录的初始 mRNA 转录产物必须经过加工,才能翻译

为一个有功能的蛋白。问题:若你在工厂中制备溶菌酶,是提取鸡蛋的 DNA 还是 RNA?为什么?本例从生产者角度分析,以解决学生学习中的问题为基础,使学生体会到从“被动者”知识接受者到决定产业效益“主导者”的角色变化,摆脱资源、平台和空间的限制,利用案例中的问题从生物化学中寻找答案,增强专业底蕴。

3.2 衍生变通

PBL 教学应用于工程教育需把书本知识设置于有实际意义的问题情境中,使学生通过解决问题,提高学生的自主学习能力。教师思维不能僵化,同一情境案例可用于不同层次和范围开展,进行衍生变通。不同专业均可从工程理念的角度全面对比理解和掌握知识体系。以糖代谢异常——糖尿病为例,从食品科学与工程、制药工程与生物工程角度进行分析(图 3)。

3.3 问题演绎

从案例演绎为教学问题创设情境,提出能激发学生主动探究的驱动问题是 PBL 设计的关键环节。教师需对案例提供的素材进行“个性化”和“创造性”的再加工,设置进阶式 N 连问,层层深入,问题导向进阶案例的实施。所设立的问题应利于学生从知识的被动接受者转变为知识的探索者、发现者和自主学习者,使教师的教和学生的学变得更有成效,实现教育本质的回归。

以蛋白质部分的教学为例,教材以氨基酸结构,肽键,蛋白质一、二、三和四级结构等内容顺次介绍。例如图 4 对新冠病毒刺突蛋白(spike protein, S)结构与功能的讲授,传统教学方式即从结构到功能的分析,但从生物工程角度需将思维方式转换,着眼点与切入点从“有意有益”(意义和益处)角度出发,逆向思维,逐渐建立意义建构的思维模式,引导灌输



图3 糖尿病 PBL 教学衍生
Figure 3 Diabetes PBL teaching derivative.

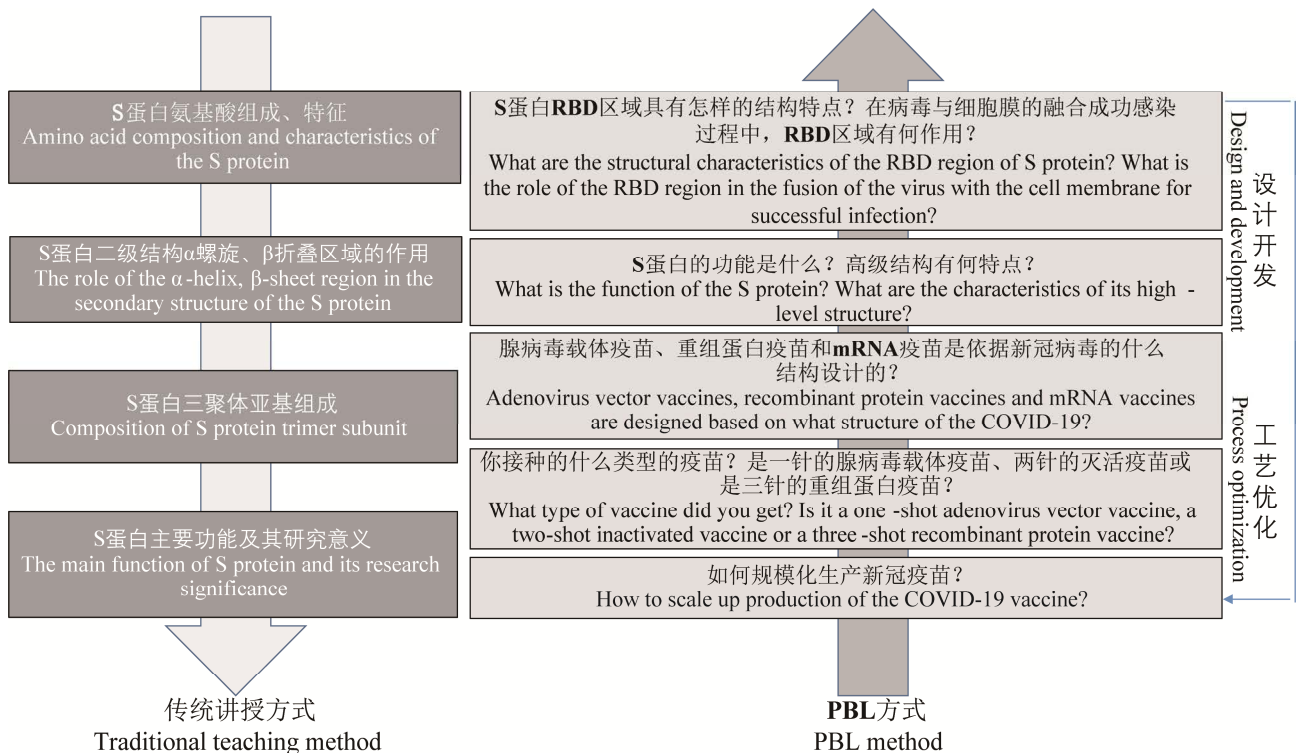


图4 新冠病毒刺突蛋白结构与功能 PBL 设计思路
Figure 4 PBL design ideas for introducing COVID-19 spike protein structure and function.

式记忆模式向意义建构的自主思维模式转变。通过反向教学设计和知识重构,打破传统的按照既定章节的知识讲授过程,以突出理论与实践结合、理论与工程结合的理念。

案例分析:大家是否了解自己注射的是什么样的疫苗?针对新冠病毒,目前正在研发的疫苗有灭活疫苗、基因工程重组亚单位疫苗、载体疫苗和核酸疫苗这4种。从工程的角度来讲如何制备一个蛋白质抗原?这个抗原需要具备什么样的结构才能引起免疫原性?它的一级结构及高级结构具有什么特点?联系蛋白质的结构、功能,是否可以制定相应的工艺流程,开发相应的解决方案?通过设计实验、分析讨论实验结果,信息综合得到合理有效的结论。将工程管理的原理和经济决策的方法用于生产运营及管理,服务社会的责任和意识潜移默化地贯穿于教学内容。将公众利益与安全放在首位,涉及到疫苗制备的经济效益、社会效益,如何分析,如何进行项目管理?项目对于国家社会环境有何意义?鼓励学生用专业精神以客观态度发表言论,以诚信精神提供服务。从逻辑思维和综合运用,创新意识和思维分析等多维度考察学生。

4 总结

本文以生物化学课程为例,从课程内容、课程资源等方面介绍了适合工程专业PBL教学案例的开发、切入、优化、设计等方法。强调在知识的学习中对接实际案例,培养学生用生物化学的知识解释和指导工程领域中的科研与生产。对PBL教学设计方法和路径的运用进行了分析和列举,比较深入地构建了适合工程教育的可实现型PBL教学模式,使得教学更具应用性、吸引力与创新性。

在实际应用过程中,对于专业基础课,融

入工程技术实践案例的内容需依据专业的不同适当选取;理论前沿、应用前景、最新技术动态需随行业发展趋势不断更迭;PBL教学案例的选择需依据科技关注热点,结合产业发展需求持续转换;进阶问题的提出和解答需依据学生接受程度适度调整等。

本文提出的PBL教学案例设计将为培养应用型技术人才的工程教育课程建设提供具有借鉴价值的思路与举措,为新工科教学体系实践探索提供参考。

REFERENCES

- [1] 米卓琳, 张大庆, 苏静静. 基于问题学习的起源和发展现状探究. 中华医学教育杂志, 2019, 39(6): 430-436.
Mi ZL, Zhang DQ, Su JJ. Origin and development of problem-based learning. Chin J Med Edu, 2019, 39(6): 430-436 (in Chinese).
- [2] 刘巍巍, 丁子健, 王海军. 成果导向下“精益”教学模式的构建与实践. 高等工程教育研究, 2022(1): 169-174.
Liu WW, Ding ZJ, Wang HJ. Construction and practice of “lean” teaching mode based on the outcomes-based education. Res High Educ Eng, 2022(1): 169-174 (in Chinese).
- [3] 李童 杨楠. 新工科背景下学生友好型案例教学的理念、构建与实践. 高等工程教育研究, 2022(1): 29-34.
Li T, Yang N. The concept, construction, practice of student-friendly case study teaching under the background of emerging engineering education. Res High Educ Eng, 2022(1): 29-34 (in Chinese).
- [4] 白云鹏, 王启要, 庄英萍, 等. 探微知著, 辟新为用——华东理工大学生物工程新工科专业建设实践. 高等工程教育研究, 2021(3): 49-53.
Bai YP, Wang QY, Zhuang YP, et al. Exploring the knowledge and innovation for use. Res High Educ Eng, 2021(3): 49-53 (in Chinese).
- [5] 李晓岩, 毕冰, 许志茹, 等. 基于成果导向教育理念的生物化学多维度教学改革体系的构建. 生物工程学报, 2020, 36(10): 2226-2233.
Li XY, Bi B, Xu ZR, et al. Construction of multi-dimensional teaching reform system of Biochemistry based on outcome-based education. Chin J Biotech, 2020, 36(10): 2226-2233 (in Chinese).

- [6] 朱益波, 吴凌天, 吴金男, 等. 应用型本科高校围绕解决生物工程专业复杂工程问题能力培养的课程体系思考与构建. 生物工程学报, 2021, 37(9): 3383-3396. Zhu YB, Wu LT, Wu JN, et al. Construction of the curriculum for developing the ability to solving complex engineering problems in the field of biotechnology industry. Chin J Biotech, 2021, 37(9): 3383-3396 (in Chinese).
- [7] Chen JY, Ren YX, Zhang KS, et al. Phosphorylation modification of myofibrillar proteins by sodium pyrophosphate affects emulsion gel formation and oxidative stability under different pH conditions. Food Funct, 2019, 10(10): 6568-6581.
- [8] Li HP, Zhao P, Zhang SH, et al. Protective effect of polysaccharides from *Pholiota nameko* on *Lactobacillus casei* ATCC 334 subjected to freeze-drying. LWT, 2019, 115: 10846.
- [9] Xiao S, Zhang YQ, Xie JB, et al. Ultrasonic-assisted extraction of squalene and vitamin E based oil from *Zizyphi Spinosae* Semen and evaluation of its antioxidant activity. J Food Meas Charact, 2018, 12(4): 2844-2854.
- [10] 陈霞, 李计萍. 苦杏仁及其制剂的质量控制体系探讨. 中国实验方剂学杂志, 2021, 27(19): 200-205. Chen X, Li JP. Discussion on quality control of armeniacae Semen amarum and its preparations. Chin J ETMF, 2021, 27(19): 200-205. (in Chinese).
- [11] 徐妍华, 李纲. 食品营养管理对运动员身体形态的影响. 食品研究与开发, 2021, 42(15): 233-234. Xu YH, Li G. Influence of food nutrition management on athletes' body shape. Food Res Dev, 2021, 42(15): 233-234. (in Chinese).
- [12] 沈悦青, 刘继安, 章俊良, 等. 本科学术型拔尖人才培养过程要素及作用机理——基于上海交通大学“拔尖计划”首届毕业生的调查. 高等工程教育研究, 2021(5): 106-112. Shen YQ, Liu JA, Zhang JL, et al. Study on elements and mechanisms of the undergraduate top-notch students cultivation—based on the first graduates from “the plan for cultivating top-notch students in basic disciplines” in Shanghai Jiao Tong University. Res High Educ Eng, 2021(5): 106-112 (in Chinese).
- [13] 朱圣庚, 徐长法. 生物化学-上册. 4 版. 北京: 高等教育出版社, 2017. Zhu SG, Xu CF. Biochemistry. 4th Ed. Beijing: Higher Education Press, 2017 (in Chinese).

(本文责编 郝丽芳)